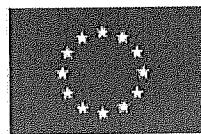
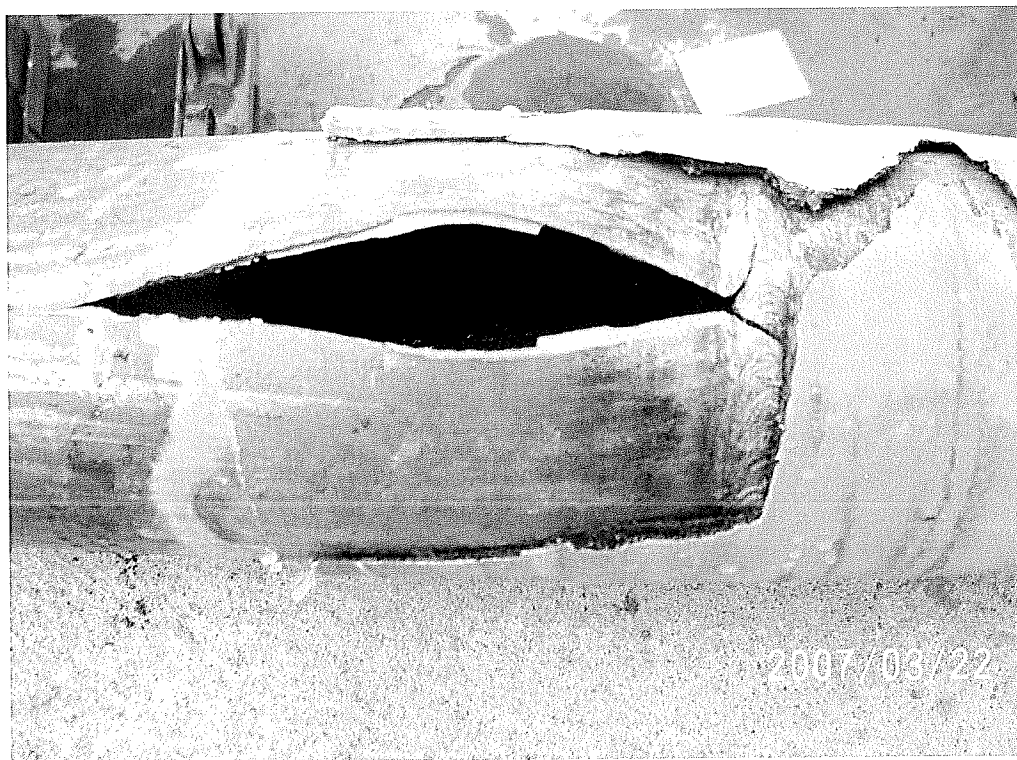


Európa itt épül



POLIMER MÁTRIXÚ KOMPOZITTA ERŐSÍTETT HIBRID CSÖVEK INTEGRITÁSA



GVOP-3.1.1.-2004-05-0215/3.0

Miskolc-Egyetemváros, 2008

POLIMER MÁTRIXÚ KOMPOZITTAL ERŐSÍTETT HIBRID CSÖVEK INTEGRITÁSA

GVOP-3.1.1.-2004-05-0215/3.0

Miskolc-Egyetemváros, 2008

TARTALOM

LUKÁCS J.: A <i>Polimer mátrixú kompozittal erősített hibrid csövek integritása</i> című projekt bemutatása	7
CZÉL G.: Polimer kompozit csőanyagok sajátos anyagvizsgálati módszerei	17
VARGA L., FEKETE G.: Föld alatt üzemelő korrodált csővezetékek maradó teherbírásának és élettartamának meghatározása, módszere és numerikus (VEM) vizsgálata	25
ÉGERT J., PERE B.: Hibrid csövek szilárdságtani modellezése és végeelem analízise	55
JÁRMAI K., FARKAS J., KOVÁCS GY.: CFRP erősítések optimalizálási lehetőségei csőtávvezeteki csöveknél	75
CSORDÁS J., KÓNYA GY.: HIKOMP csövek megerősítése	85
LUKÁCS J., NAGY GY., TÖRÖK I.: Fárasztó- és repesztővizsgálatok megerősítés nélküli és megerősített csőszakaszokon	89
KISS J.: Hibrid cső adatbázis	129
LUKÁCS J., NAGY GY., TÖRÖK I.: VÉDŐCSÖVES MŰTÁRGYAK. Vasútkeresztezések. (A 2006. november 7-én Vecsésen megtartott szakmai konzultáción elhangzott előadás anyaga.)	141
LUKÁCS J., NAGY GY., TÖRÖK I.: KÍSÉRLETI CSŐSZAKASZOK VIZSGÁLATA. Lehetőségek, tapasztalatok, tervek. (A 2007. január 7-én Miskolcon megtartott vizsgálati bemutatón és szakmai konzultáción elhangzott előadás anyaga.)	174
DOOR Á.: Budaplast Műanyagipari és Kereskedelmi Zrt.	194

CFRP erősítések optimalizálási lehetőségei csőtávvezetési csöveknél

Jármai Károly^{1,a}, Farkas József^{1,b}, Kovács György^{1,c}

¹Miskolci Egyetem Anyagmozgatási és Logisztikai Tanszéke, 3515 Miskolc Egyetemváros

^aaltjar@uni-miskolc.hu, ^baltfar@uni-miskolc.hu, ^caltkovacs@uni-miskolc.hu

Kulcsszavak: csőtávvezetési csövek, CFRP erősítés, optimalizálás.

Összefoglalás. A cikk célja az, hogy közelítő számítással meghatározza gázvezetékben fellépő hibák, sérülések kompenzáciási lehetőségét szénszálas szálerősítéses (CFRP) külső műanyag bevonat, erősítés alkalmazásával belső nyomás esetén. Kimutatja, hogy adott hiba mellett milyen CFRP vastagság szükséges. Megvizsgálja az optimalizálás lehetőségeit.

Bevezetés

Földbe ágyazott gázvezeték hibái, sérülései leggyakrabban visszavezethetők egyrészt a helyszíni hegesztések hibás kivitelezésére, aminek következtében a vezeték körvarratainál jelenik meg hiba általában a cső belső felületén egy, vagy több helyen. A másik fő ok a csővezetékeken, vagy fölötté végzett munka, amely során a munkagép okoz sérülést a cső külső felületén. A vizsgálat arra irányul, hogy közelítő számítással meghatározza ezen hibák, sérülések által képviselt kockázatot, illetve azt, hogy szénszálas szálerősítéses (CFRP) külső műanyag bevonat, erősítés alkalmazásával hogyan kompenzálhatók a kedvezőtlen hatások. Adott hiba esetén milyen CFRP vastagság szükséges.

A kompozitok több szempontból fontos anyagok a mérnöki gyakorlatban, a műszaki célú szerkezeti anyagok legkorszerűbb családját képezik. A tulajdonságok olyan széles skálájával rendelkeznek, amelyek más anyagokkal elérhetetlenek, mint például a nagy szilárdság, kis sűrűség, korrózióval és vegyi anyagokkal szembeni ellenállás, kedvező hajlítási merevség, jó rezgéscsillapítás, esztétikus megjelenés, stb. .

Ezen kedvező tulajdonságaikat speciális anyagösszetételüknek köszönhetik. Ugyanis a szál-kompozitot két vagy több különböző anyag alkotja: egy alap mátrix (beágyazó anyag), és egy erősítő fázis (töltő anyagok és szálak).

A szál-kompozit tehát:

- többfázisú (összetevői fázishatárokkal elválasztott),
- összetett (több anyagból álló) szerkezeti anyag, amely
- erősítőanyagból (tipikusan szálerősítésből) és
- befoglaló (beágyazó) anyagból (mátrix-ból) áll,
- és az jellemzi, hogy
- a nagy szilárdságú és rendszerint nagy rugalmassági modulusú (szálas) erősítőanyag és a
- rendszerint kisebb szilárdságú, de szívós (nagy ütésállóságú) mátrix között
- kitűnő kapcsolat (adhézió, tapadás) van, amely a deformáció, az igénybevétel magas szintjén is tartósan fennmarad.

A kompozit erősítőanyaga tipikusan – bár nem kizárólag – szál jellegű. A szálas erősítés alkalmazását mindenekelőtt az a műszaki logika indokolja, hogy késztermékünknek a terhelés kitüntetett irányában kell kiemelkedő szilárdságot biztosítania.

A speciális alkalmazásokhoz szükséges anyagösszetételt ezen összetevőik típusának, arányának, tulajdonságainak helyes megválasztásával érhetjük el. Így ezen anyagok alkalmazása jelentős rugalmasságot biztosít a tervezés során.

A kompozitokat a fent említett különleges tulajdonságaiknak köszönhetően jelenleg is számos iparágban (űrkutató, hadiipar, járműipar, építőipar, gépipar, vegyipar, egészségügy) alkalmazzák, ezért is keltette fel érdeklődésemet ezen anyag típus.

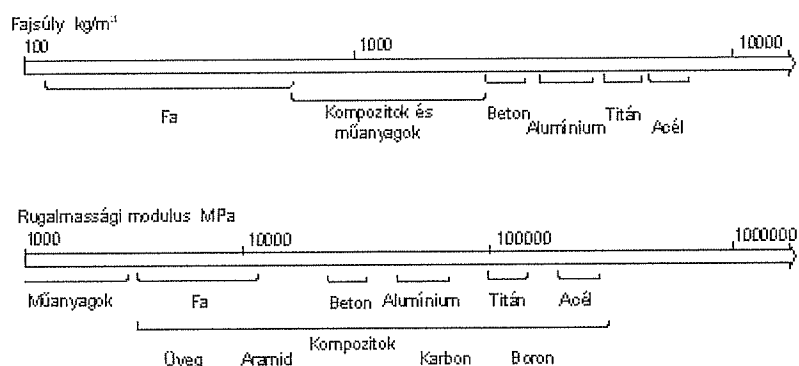
A felsorolt kedvező tulajdonságok mellett azonban a kompozitok hátránya, hogy bonyolult tervezési eljárást, magas költséget, új és bonyolult gyártási technológiát igényelnek, valamint még kevés kompozitokra vonatkozó karbantartási tapasztalat áll rendelkezésre.

A rétegelt kompozit szerkezetek még szélesebb körű elterjedésének gátja, hogy a kompozit anyagok ortotróp vagy anizotróp természetéből adódóan számítási eljárásaik, anyagszerkezet- és alakoptimalásuk jóval komplexebb a hagyományos homogén fémek anyagokhoz képest. Emiatt egyszerű gyakorlati tervezési előírások és számítási módszerek még nem állnak rendelkezésre.

A kompozitok és a hagyományos anyagok összehasonlítása

Szakemberi anyagválasztással olyan kompozitok hozhatók létre, melyek szilárdsága és rugalmassági modulusa hasonló, vagy még jobb, mint sok hagyományos anyagé.

Az 1. ábra jellegzetes szerkezetek anyagainak fajsúlyát és rugalmassági modulusát hasonlítja össze [2, 3].



1. ábra Szerkezetek anyagainak összehasonlítása.

A kompozit anyagok tulajdonságait gyakorlati szempontból a fémek tulajdonságaival célszerű összehasonlítani, mivel a vizsgálataim tárgyát képező szerkezet típusok általában fémből készülnek. Adott felhasználás esetén fémek helyett kompozitok alkalmazása jelentős súlymegtakarítást eredményezhet a kompozitok kis fajsúlyának köszönhetően. A súlycsökkentés számos iparágban kulcsfontosságú tényező, melyet az autógyártásban, a repüléstechnikában és az építőiparban ki is használnak.

A kompozitok fajlagos szilárdságuk és fajlagos merevségük tekintetében kedvezőbbek az általában alkalmazott fémszerkezeti anyagokhoz viszonyítva.

Sok kompozitnak a fáradási szilárdsága, és a fáradási károsodással szembeni ellenállása egészen rendkívüli. A polimer-mátrixú kompozitok nagyobb korrózióval szembeni ellenállást mutatnak, mint a fémek. Bár sok polimer-mátrixú kompozit hajlamos környezete nedvességének felvételére, mely méretbeli változásokat, valamint az anyagban káros belső feszültségeket eredményez. A polimer-mátrix hő-oxidációs károsodása magas hőmérsékleten következhet be. A fém-mátrixú kompozitokban a mátrix oxidációja, valamint a szálak és a mátrix közötti nem kívánatos reakció problémát jelenthet a magas hőmérsékleten való alkalmazásoknál.

A hőtágulási együtthatók sok száalkompozit esetén sokkal alacsonyabbak, mint a fémeknél. Következésképpen, a kompozit szerkezetek jobb mérettartást mutatnak az üzemi hőmérséklet változása esetén. A száalkompozitok anizotróp természete lehetővé teszi a gyakorlatilag nulla hőtágulási együtthatójú szerkezetek gyártását.

os
ik,
ult
ég
ok
és
itt

Míg a folyási- és a képlékeny deformáció egészen gyakori a szerkezeti fémeknél, a legtöbb száلكompozit gyakorlatilag rugalmas húzó igénybevétel esetén.

A kompozitok belső csillapítása alkalmassá teszi ezeket az anyagokat olyan szerkezeti elemek előállításához, melyek zaj- és rezgéscsökkentést igényelnek.

A fémmátrixú kompozitok további előnyökkel is rendelkeznek a monolit fémekhez képest, mint például a nagyobb kopásállóság, a kedvezőbb magas hőmérsékleti tulajdonságok és a jobb kúszási ellenállás.

További előny a korrózióval szembeni ellenállás, mely lehetővé teszi, hogy a felületi védelemként szolgáló költséges festést elhagyjuk.

Az előzőekben felsorolt kedvező tulajdonságok mellett a kompozitok hátránya, hogy bonyolult tervezési eljárást, magas költséget, új gyártási technológiákat, bonyolult gyártási eljárásokat igényelnek, valamint még kevés kompozitokra vonatkozó karbantartási tapasztalat áll rendelkezésre.

gi

Száلكompozitok

te

A száلكompozitok több szempontból fontos anyagok a mérnöki gyakorlatban. A tulajdonságok olyan széles skálájával rendelkeznek, melyek más anyagokkal elérhetetlenek, mint például a nagy szilárdság, kis sűrűség, korrózióval és vegyi anyagokkal szembeni ellenállás, hosszú élettartam, hő- és hangszigetelő képesség, rezgéscsillapítás, kis hőtágulás, alacsony- vagy magas hővezetés, esztétikus megjelenés, stb.

A kompozitokat a fent említett különleges tulajdonságaiknak köszönhetően jelenleg is számos iparágban alkalmazzák [4, 5].

Leggyakoribb alkalmazási területek:

Úrkatatás: űrtechnikai eszközök, alkatrészek gyártása,

Hadi ipar: haditechnikai járművek, tárolóeszközök gyártása,

Járműipar: vízi-, közúti-, légi járművek karosszéria elemei, egyéb alkatrészei gyártása [6, 7, 8],

Építőipar: épületelemek (pl. tetőszerkezet) [9], padló- és falburkolatok, bútorok, mélyépítési alkalmazások gyártása, károsodott vasbeton- és fa szerkezetek utólagos megerősítése [10, 11],

Gépipar: gépalapok, gépelemek, burkolati elemek, tartóelemek gyártása,

Elektromos ipar: szigetelők gyártása,

Vegyipar: csövek, tartályok gyártása [12],

Egészségügy: protézisek, orvosi eszközök gyártása.

Elvileg végtelen számú kompozit típus létezik, melyek különbözhetnek szááltípusban, száaltartalomban, száalhosszban, szálelrendezésben és mátrix típusban.

A száلكompozitok sokféle módon osztályozhatók, a főbb szempontok a következők lehetnek:

a) Erősítő anyag szerint:

1. Folytonos szálak
 - egyirányú szálelrendezés,
 - többirányú szálelrendezés (pl. szőtt rétegek),
 - tetszőleges száalirányú,
2. Nem folytonos szálak
 - tetszőleges száalirányú,
 - egy irányba rendezett,
3. Részecskék, whiskerek
 - tetszőleges száalirányú,
 - egy irányba rendezett.

b) Réteg elrendezés szerint:

- több, azonos anyagú, azonos száalirányú rétegből álló laminát,
- azonos vagy eltérő anyagú, eltérő száalirányú rétegből álló laminát.

c) Hibrid szerkezet szerint:

- különböző rétegekben különféle anyagok,
- egy rétegben különféle erősítő anyagok.

A szál-kompozitok két fő alkotórészből állnak: egy erősítő fázisból (szálak) és egy alap mátrixból (pl. gyanta). A kompozitban mind a szálak, mind a mátrix nagymértékben megőrzik jellemvonásaikat, sőt még sok olyan tulajdonságot is eredményeznek, melyek elérhetetlenek lennének valamelyik összetevő kizárólagos alkalmazásával.

Ezen kedvező tulajdonságait speciális anyagösszetételüknek köszönhetik. A speciális alkalmazásokhoz megfelelő anyagösszetételt összetevőik alap mátrix és erősítő fázis (töltő anyagok, szálak) típusának, arányának, tulajdonságainak helyes megválasztásával érhetjük el. Így ezen anyagok alkalmazása jelentős rugalmasságot biztosít a tervezés során.

Száltípusok

A szálak általában nagy szilárdságúak és nagy rugalmassági modulusúak, fő teherviselő elemként szolgálnak. A szálak széles választéka áll rendelkezésre a kompozitokban való felhasználásra. A szálerősítő anyagok a mátrixba beágyazva fejtik ki hatásukat, általában a kompozit húzó-, és hajlítószilárdságát növelik. Ezek a szálak sokféle módon használhatók fel, lehetnek folytonos szálak, szövetek és darabolt szálak.

A szálerősítés megjelenési formái a következők lehetnek [4, 5, 7, 13, 14, 15]:

roving: párhuzamos, sodratlan pászma,

rovingszövet: rovingokból összeszőtt textília. Lánc- és vetülék irányban többnyire egyező szálmennyiséget tartalmaz, de léteznek erős láncfonatot csak kis mennyiségben vetülékkel összefogó ún. egyirányú (unidirekcionális) rovingszövetek is,

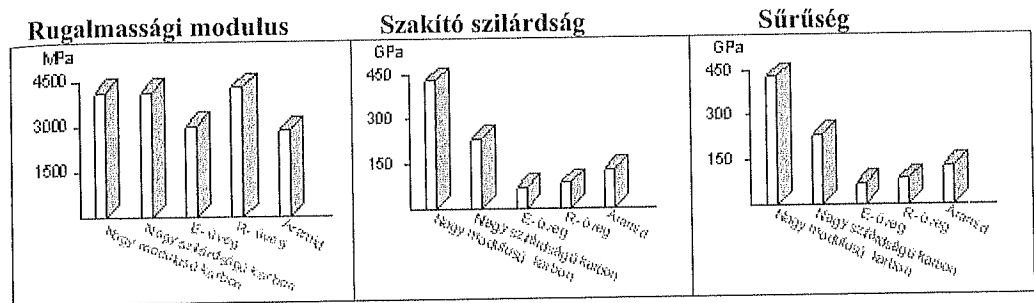
szövet: sodrott fonalból szöve,

paplan: nemezelődött fonalakból képzett, ragasztással vagy steppeléssel összefogott textília.

Az iparban használt szálak típusai és százalékos megoszlásuk a következő [4, 5, 7, 13, 14, 15]:

- Üvegszál (40%): eltérő tulajdonságú típusai léteznek:
 - A-üveg: kémiai hatásoknak, valamint az időjárásnak ellenálló,
 - D-üveg: elektromos szigetelő,
 - E-üveg: nagy szilárdságú, nagy rugalmassági modulusú, jó kémiai ellenállású, alacsony költségű
 - M-üveg: nagy teherbírású,
 - R-üveg: hőálló, nagy szilárdságú,
 - S-üveg: kiemelkedően nagy szilárdságú, magas költségű.
- Szén- és grafitaszál (34%): kis sűrűségű, nagy rugalmassági és hajlítási modulusú, nagy merevségű, jó hővezető képességű.
- Aramid szál (23%) (leggyakrabban alkalmazott típusa a Kevlár): igen nagy hőstabilitású, nagy szilárdságú, jó szigetelő, kedvező szilárdság-súly és modulus-súly arányú, kedvező energia elnyelésű.
- Egyéb szálak (3%):
 - bőr-,
 - volfram-,
 - kvarc-,
 - azbeszt-,
 - fém- (Be, acél),
 - új szintetikus szálak.

A 2. ábra gyakran alkalmazott száltípusok sűrűségi-, szilárdsági- és rugalmassági jellemzőit szemlélteti [13].



2. ábra Szálak jellemzői.

Mátrix anyagok

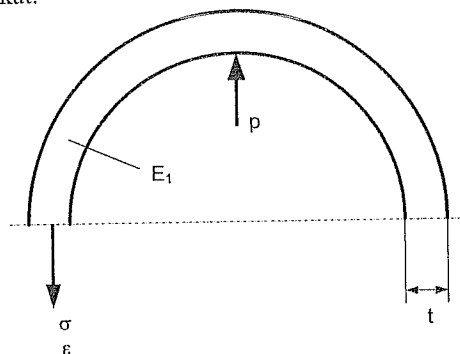
A mátrix feladata a szálak kívánt helyzetben és irányban való tartása, elválasztva azokat egymástól, elkerülve ezzel a kompozit deformálódása közbeni kölcsönös sűrűlődni. A mátrix a szálak közötti terhelésátadó közegként is funkcionál, és kevésbé ideális esetben – összetett terhelés esetén – a mátrix a szál tengelyére merőleges terhelés felvételére is alkalmas. A szálak környezeti károsodástól való védelmeként is szolgál a kompozit előállítás előtt, közben és után is. A mátrix anyagok polimer -, fém -, vagy kerámia - mátrixok lehetnek.

A leggyakrabban alkalmazott szálkompozitokban használt polimerek a hőre keményedő gyanták, valamint a kisebb mennyiségben igénybevetett hőre lágyuló polimerek. A legfontosabb fém-mátrixok alumínium, titán, magnézium és rézötvözet alapúak. A kerámia alapú kompozitokat - melyek tartalmazhatnak karbon, üveget, félfémeket - olyan alkalmazásokhoz használják, ahol fontos szempont a magas hőmérséklet jelenléte, valamint az anyag kémiai stabilitása. [4, 13, 14, 15]

Közelítő számítás a CFRP erősítés minimális vastagságának meghatározására

Adott csőátmérőt, vastagságot és anyagminőséget feltételezve meghatározzuk adott csőhiba esetén a csőfalban ébredő közelítő feszültséget és a CFRP erősítés minimális vastagságát, továbbá a feszültségeket, mind a csőfalban, mind az erősítésben.

Feltételezzük, hogy a csőhiba a kerület mentén állandó. Elhanyagoljuk a bemetszések, hibák helyi hatásait, a feszültségcsúcsokat.



3. ábra

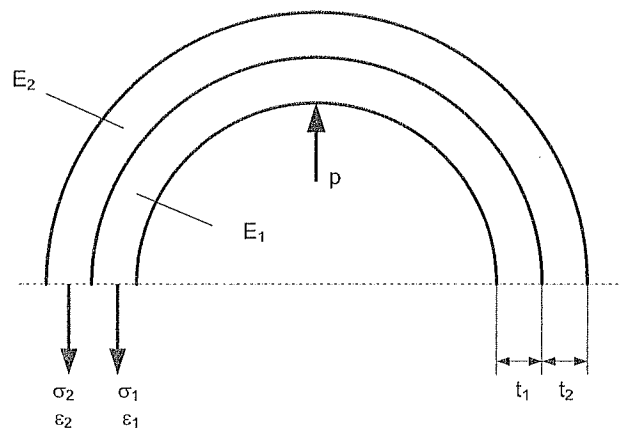
A belső nyomás és az acél héjalemben ébredő feszültségek egyensúlya a következő (3. ábra):

$$pD = 2\sigma t,$$

(1)

amiből

$$\sigma = \frac{pD}{2t}. \quad (2)$$



4. ábra

A belső nyomás és a héjelemekben ébredő feszültségek egyensúlya két réteg esetén a következő (4. ábra):

$$pD = 2\sigma_1 t_1 + 2\sigma_2 t_2 \quad (3)$$

A fajlagos nyúlás a két anyagban egyforma.

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 \quad (4)$$

ami a feszültségekre nézve a következőt jelenti:

$$\frac{\sigma_1}{E_1} = \frac{\sigma_2}{E_2}, \quad (5)$$

amiből a szálerősítési réteg feszültsége a következő:

$$\sigma_2 = \sigma_1 \frac{E_2}{E_1}. \quad (6)$$

Az eredeti képlet (6) ennek megfelelően

$$pD = 2\sigma_1 t_1 + 2t_2 \sigma_1 \frac{E_2}{E_1}. \quad (7)$$

Kissé átalakítva

$$(2) \quad pD = 2\sigma_1 t_1 \left(1 + \frac{t_2 E_2}{t_1 E_1} \right). \quad (8)$$

Az acélcsőben ébredő feszültség ez alapján

$$\sigma_1 = \frac{pD}{2t_1 \left(1 + \frac{t_2 E_2}{t_1 E_1} \right)} = \frac{pD}{2t_1 \delta}, \quad (9)$$

a kétrétegű csőre általánosított kazánképlet, ahol

$$\delta = 1 + \frac{t_2 E_2}{t_1 E_1}. \quad (10)$$

Ha hiba van a csőfalban, akkor μ % hiba esetén a számítás a következő

$$t_1 \rightarrow (1 - \mu)t_1 \quad (11)$$

A csőfal hibájának kompenzálásához szükséges CFRP erősítés vastagsága a (10) alapján a következő:

$$(4. \quad t_2 = \frac{\mu t_1 E_1}{E_2} \quad (12)$$

$$3) \quad \delta = 1 + \mu \quad (13)$$

) Ez azt jelenti, hogy δ értéke 1-2 között változik.

A (9) képletből kifejezzük az adott σ_1 -hez tartozó t_2 értékét

$$t_2 = \left(\frac{pD}{2t_1 \sigma_1} - 1 \right) \left(\frac{t_1 E_1}{E_2} \right). \quad (14)$$

Ha ismert a megengedett feszültség, akkor ennek biztosításához szükséges erősítés vastagsága meghatározható.

A CFRP erősítés vastagságának meghatározása a csőhiba függvényében adott csőméretnél és anyagnál

Egy adott csőre a erősítés és a hiba kapcsolatát az 1. táblázat mutatja. Acélcső $t_1=7.1$ mm, $D_1=323.9$ mm, $E_{\text{acél}}=210000$ MPa, $E_{\text{cfp}}= 46000$ MPa. Szakítószilárdság az acélcsőnél 600 MPa, a CFRP-n 430 MPa.

Az 1. táblázat mutatja, hogy az acélcsőben a hiba növekedésével nő a szükséges CFRP réteg vastagsága. Ugyanolyan belső nyomás mellett a hiba növekedésével az egyre vastagabb CFRP egyre több terhelést vesz át, így nominálisan a csőben csökken a feszültség. Természetesen lehet más merevítőréteg-vastagságot is alkalmazni, de akkor az acélcső feszültsége is változik. Kisebb rétegvastagság esetén növekszik.

1. táblázat Acélcső $t_1=7.1$ mm, $D_1=323.9$ mm, $E_{\text{acél}}=210000$ MPa, $E_{\text{cfp}}= 46000$ MPa

Belső nyomás [MPa]	Cső hiba %	CFRP vastagság [mm]	Csőfeszültség [MPa]	CFRP feszültség [MPa]
6.3	0	-	143.7	-
	10	3.3	130.6	28.6
	20	6.5	119.7	26.2
	30	9.8	110.5	24.2
	40	13	102.6	22.5
	50	16.2	95.8	20.9
	60	19.5	89.8	19.7
	70	22.6	84.5	18.5
	80	25.9	79.8	17.5
25	0	-	570.2	-
	10	3.2	518.4	113.6
	20	6.5	475.2	104.1
	30	9.7	438.7	96.1
	40	13	407.3	89.2
	50	16.2	380.2	83.3
	60	19.5	356.4	78.1
	70	22.7	335.4	73.5
	80	25.9	316.8	69.4
27	0	-	615.8	-
	10	3.3	558.9	120.1
	20	6.6	511.6	110.9
	30	9.9	471.7	103.1
	40	12.9	440.5	96.3
	50	16.2	410.6	88.5
	60	19.5	384.5	83.4
	70	22.8	361.5	78.9
	80	25.9	342.3	74.9
30	0	-	684.3	-
	10	3.3	622.1	136.3
	20	6.5	570.3	124.9
	30	9.8	536.4	115.3
	40	13	488.8	107.1
	50	16.3	456.2	99.9
	60	19.5	427.7	93.7
	70	22.7	402.6	88.2
	80	25.9	380.2	83.3

Összehasonlítás a repesztő mérésekkel

219*5-ös hibátlan cső repesztő nyomásai esetén alkalmazva a közelítő képleteket a következő értékek adódnak:

A 219*5-ös hibátlan cső repesztési nyomása a mérés alapján 27.66 MPa. Ehhez 600 MPa szakítószilárdság tartozik, vagyis a 6.3 MPa üzemi nyomáshoz 150 MPa feszültség van megengedve. Ekkor a biztonsági tényező 4.

A megerősített 323.9*71-es cső repesztő nyomásai esetén alkalmazva a közelítő képleteket a következő értékek adódnak:

8 rétegű erősítés, vagyis 2.4 mm vastagság esetén a repesztési nyomás 26.46 MPa és a hiba mértéke 4.5 mm, vagyis 60%, $\mu = 0.6$. Képletünk (9) szerint ilyen erősítés mellett a csőben 562 MPa feszültség keletkezik, ez közel van a törőfeszültséghez, tehát ilyen vastag erősítés nem elegendő. Képletünk tehát helyesen mutatja a viszonyokat. A (14)-es képlet szerint a 150 MPa megengedett csőfeszültség biztosításához 21 mm vastag erősítés szükséges.

10 rétegű erősítés, vagyis 3.0 mm vastagság esetén a repesztési nyomás 27.32 MPa és a hiba mértéke 2.8 mm, vagyis 40%. Képletünk (9) szerint ilyen erősítés mellett a csőben 570 MPa feszültség keletkezik, ez közel van a törőfeszültséghez, tehát ilyen vastag erősítés nem elegendő. A (14)-es képlet szerint a 150 MPa megengedett csőfeszültség biztosításához 13 mm vastag erősítés szükséges.

A megerősítetlen 323.9*71-es cső repesztő nyomásai esetén alkalmazva a közelítő képleteket a következő értékek adódnak:

A repesztési nyomás 23.35 MPa és a hiba mértéke 3.1 mm, vagyis 44%. Képletünk szerint ilyen erősítés mellett a csőben 533 MPa feszültség keletkezik, ez közel van a törőfeszültséghez, tehát erősítésre van szükség. A (14)-es képlet szerint a 150 MPa megengedett csőfeszültség biztosításához 15 mm vastag erősítés szükséges.

Optimalizációs lehetőségek

Az optimális méretezés során a célfüggvény minimumát keressük, különféle méretezési feltételek esetén (16-18).

$$f(x) \rightarrow \min. \quad (16)$$

$$\text{ahol a változók } x = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}, N \text{ a változók száma,} \quad (17)$$

$$\text{a méretezési feltételek } g_j(x) \leq 0, j = 1, 2, \dots, P \quad (18)$$

Mivel a szénszálas anyagok ára relatíve nagy, ezért elválnak egymástól élesen a tömegminimum és a költségminimum. A CFRP költségek erősen függenek a gyártótól is.

Változók lehetnek a cső méretei D , t_1 , esetleg anyaga, a CFRP anyag, illetve a vastagsága t_2 . Az anyagminőség változása esetén változik a szakítószilárdság, a rugalmassági modulus (a CFRP-ben mindenképp), a megengedett feszültségek.

A méretezési feltételek a csőfeszültségre, a kompozit feszültségére, méretkorlátozás a kompozit vastagságára lehetnek megadva.

$$\sigma_1 \leq R_{acél} \quad (19)$$

$$\sigma_2 \leq R_{CFRP} \quad (20)$$

$$t_{2min} \leq t_2 \leq t_{2max} \quad (21)$$

Egy ilyen részletesebb optimálás elvégzéséhez valamilyen iterációs módszer szükséges, mint például a Rosenbrock-féle Hillelimb algoritmus, mely alkalmas arra, hogy megkeresse a célfüggvény szélsőértékét nemlineáris egyenlőtlenségi feltétel esetén. Egy ilyen típusú optimáláshoz még további adatok, mérések szükségesek.

Összefoglalás

A cikkben megtárgyaltuk a szálerősítéssel anyagok jellemzőit, összehasonlításokat tettünk. Egyszerű közelítő számítást dolgoztunk ki az acélcső és a CFRP erősítés együttdolgozására vonatkozóan a csőfal hibája esetén. Meghatároztuk azt a CFRP merevítő vastagságot, mely a csőfal hibáját kompenzálja. A számítás más CFRP vastagságra is elvégezhető. Repesztő mérésekkel hasonlítottuk össze a számításokat és relatíve jó egyezést kaptunk. Megadtunk képletet arra vonatkozólag, hogy négyesbiztonság esetén a cső szakítószilárdságból visszaszámolhassuk a erősítés vastagságát.

Irodalom

- [1] Kovács György: Szálerősítéssel műanyag profilos tartók és cellalemezek vizsgálata, optimális méretezése, PhD értekezés, 2004. Miskolci Egyetem
- [2] Hexcel Composites anyag- és termékismertetője, internetes anyag: <http://www.hexcelcomposites.com>
- [3] Barbero E. J., Introduction to composite materials design, Taylor & Francis, USA, 1999, ISBN: 1-56032-701-4
- [4] Bor Z. Jang: Advanced Polymer Composites, The Materials Information Society, 1994
- [5] Pánczél Mária szerkesztő: Szálerősített Műanyag Kompozitok I-II., OMIKK, Budapest, 1986
- [6] Lawrcnc K.: Lighter weight and lower cost with foam-corc composites, Material Engineering 4, No. 9, 1987
- [7] Czirkovszky T., Nagy P., Gaál J.: A polimertechnika alapjai, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2000, ISBN 963 420 621 2
- [8] Patberg L., Philipps M., Dittmann R.: Fibre-reinforced composites in the car side structure, Proc. Instn. Mech. Engrs, 1999, Vol. 213 Part D: pp. 417-423
- [9] Kovács Gy.: Analysis of a Composite Structure, MicroCAD 2000. konferencia kiadvány, Miskolc, 2000., pp. 81-84
- [10] Hollaway L. C.: The evolution of and the way forward for advanced polymer composites in the civil infrastructure, In Proceedings of the International Conference on FRP Composites in Civil Engineering, Vol. 1., 12-15 Dec. 2001, Hong Kong, China, pp. 27-40
- [11] Triantafillou T. C.: Strengthening of historic structures with composites, In Proceedings of the International Conference on FRP Composites in Civil Engineering, Vol. 2., 12-15 Dec. 2001, Hong Kong, China, pp. 959-965
- [12] Hoa S. V.: Analysis for design of fiber reinforced plastic vessels and pipings, Technomic, USA-Lancaster, 1991
- [13] Thamm F.: Műanyagok szilárdságtana II. (Műanyag tartószerkezetek), Budapest, 1985, ISBN: 963431496-1
- [14] Hexcel Composites anyag- és termékismertetője, internetes anyag
- [15] Barbero E. J., Introduction to composite materials design, Taylor & Francis, USA, 1999, ISBN: 1-56032-701-4